

Analyse de la dynamique du paysage de la plaine du Rhône de 1850 à 2003 sur la base de cartes topographiques

Flavio Zanini¹, Elodie Zanini², Christine Weber³ & Rodolphe Schlaepfer⁴

Bull. Murithienne 124 (2006) : 89-98

Les changements d'occupation du sol de la plaine du Rhône valaisanne et vaudoise sont étudiés sur la base de cartes topographiques de 1850, 1900, 1950 et 2003. Cette analyse informe sur l'évolution, la structure et l'état de fragmentation du paysage. En 1850, la zone alluviale du Rhône occupait environ 11% de la surface de la plaine. Depuis 1850, 95% des surfaces alluviales et 85% des marécages ont disparu. Par contre, la surface urbanisée a été multipliée par environ 7.5 fois (de 443 ha à 3320 ha : +2877 ha) et ceci essentiellement aux dépens des zones agricoles et des anciennes zones humides ou boisées. Nous avons mis en évidence la profonde modification de la plaine du Rhône pendant les 150 dernières années et la nécessité de conserver, valoriser et interconnecter les rares milieux naturels encore existants.

Die Landschaftsdynamik in der Rhoneebene zwischen 1850 und 2003: Eine Analyse anhand von topographischen Karten – Anhand topographischer Karten wird die Veränderung der Bodennutzung in der Rhoneebene zwischen Brig und dem Genfersee von 1850 bis 2003 untersucht. Damit werden Entwicklung, Struktur und Fragmentierung der Landschaft dokumentiert. Um 1850 nahmen Auen noch gut 10% der Ebene ein. Seit 1850 sind in der Rhoneebene 95% aller Auen und 85% aller Feuchtgebiete verschwunden. Dagegen hat die Siedlungsfläche um 2'877 ha oder 649% zugenommen, insbesondere auf Kosten der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Wir zeigen die grundlegenden Veränderungen auf, welche die einstige Flusslandschaft in den vergangenen 150 Jahren erfahren hat und die Notwendigkeit, die wenigen verbliebenen natürlichen Flächen zu erhalten, aufzuwerten und zu vernetzen.

Mots clés

dynamique du paysage, écologie du paysage, utilisation du sol, matrice de transition, Valais, Plaine du Rhône, SIG

Schlüsselwörter

Landschaftsdynamik, Landschaftsökologie, Veränderung der Bodennutzung und Bodenbedeckung, Transitionsmatrix, Wallis, Rhoneebene, Geographische Informationssysteme

¹ Institut Fédéral de recherches WSL, Antenne romande (ARWSL), CH-1015 Lausanne et Drosera SA, Ecologie Appliquée, CH – 1950 Sion e-mail: flavio.zanini@drosera-vs.ch

² IDEALP Ingénieurs Sàrl, Ingénierie pour le Développement en Environnement Alpin CH – 1950 Sion, elodie.zanini@idealp.ch

³ Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF, EAWAG, CH- 6047 Kastanienbaum christine.weber@eawag.ch

⁴ Institut des Sciences et Techniques de l'Environnement (ISTE), EPFL, CH-1015 Lausanne, rodolphe.schlaepfer@epfl.ch

INTRODUCTION

La dynamique du paysage

La notion de paysage s'est considérablement développée ces dernières années. Elle est devenue centrale pour la gestion de l'espace, en particulier pour la protection du patrimoine naturel et culturel. Un paysage peut être décrit par sa composition et sa configuration, ce qui détermine sa structure. (FORMAN & GORDON 1986). La composition se réfère l'abondance d'éléments du paysage comme par exemple la surface forestière. La configuration décrit la forme et l'arrangement de ces éléments dans l'espace, par exemple, le nombre d'unités forestières et la distance moyenne entre elles. Finalement, la dynamique du paysage, est définie par la modification au cours du temps de sa structure. Elle résulte de processus naturels (les avalanches ou les successions écologiques par exemple) et/ou anthropiques (la conversion de milieux naturels à l'agriculture ou l'urbanisation par exemple).

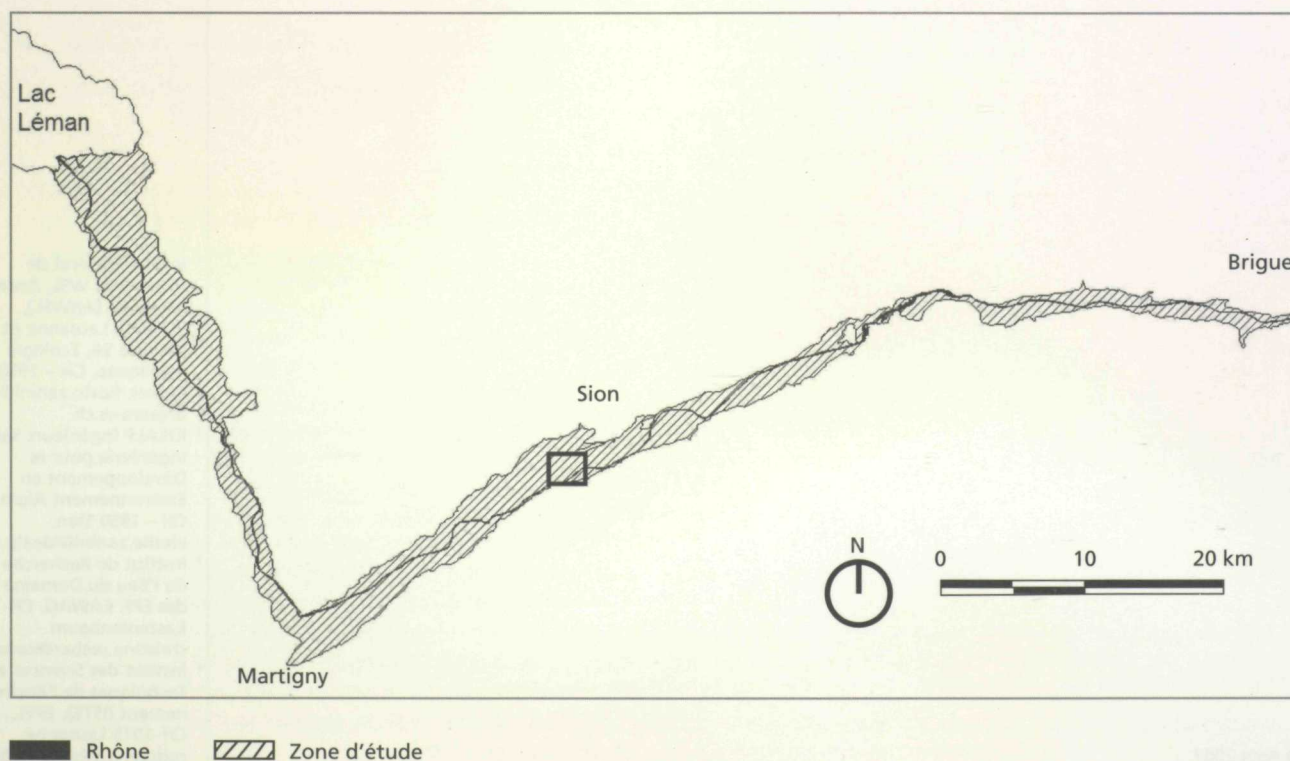
Depuis toujours, mais particulièrement depuis le début du 20^e siècle, l'homme influence l'ensemble des écosystèmes de la planète par l'exploitation des ressources naturelles et l'occupation de l'espace, entre autres par l'agriculture et l'urbanisation. Ces pressions sont à l'origine de profonds changements paysagers qui ont pour la plupart des conséquences négatives sur la qualité écologique de l'environnement (BALMFORD & BOND 2005). La fragmentation des habitats et leur disparition par les actions humaines sont considérées comme la principale cause du déclin généralisé de la biodiversité (TILMAN *et al.* 1994, DOBSON *et al.* 1997, PIMM ET RAVEN 2000).

La plaine du Rhône

La plaine du Rhône n'a pas échappé à cette évolution et elle se présente aujourd'hui comme un paysage extrêmement anthropisé, caractérisé par un considérable appauvrissement en nombre d'espèces animales et végétales. Par exemple, entre 1882 et 1982, dans le Chablais vaudois, au moins 65 espèces de plantes de milieux marécageux ont disparu (DELARZE *et al.* 1982). Dans la partie valaisanne du Chablais, les espèces végétales disparues entre 1850 et 1985 sont encore plus nombreuses (116 selon GIUGNI 1985). Aux Grangettes, sur un total de 417 espèces végétales recensées, 98 n'ont plus été retrouvées au cours du siècle passé (MORET 1985). Les deux corrections du Rhône (DE TORRENTÉ 1964) et le drainage de la plaine ont fortement contribué à cette évolution qui, à partir d'un paysage fluvial relativement naturel, a mené à une plaine dominée par l'agriculture intensive et l'urbanisation. Les nombreuses zones humides ont été asséchées et le Rhône a été endigué pour permettre l'exploitation des terres fertiles. L'agriculture, d'abord caractérisée par la présence d'éléments structurant le paysage, tels que des arbres fruitiers à haute tige et moult haies, bosquets et bas fonds humides, s'est ensuite intensifiée, amenant une uniformisation du paysage, à l'exemple des monocultures fruitières et maraîchères. Les centres urbains et les villages se sont développés à leur tour pour accueillir une population croissante et pour répondre à un besoin grandissant de surface habitable (OFS 1992). Le paysage a subi d'importantes modifications qui ont parfois complètement effacé l'état originel (POSSE 1997, STÄUBLE & REYNARD 2005).

Une partie de cette information historique est enregistrée par la mémoire collective, mais celle-ci est bien évidemment limitée dans le temps et dans la quantité et la finesse des

FIGURE 1 – La plaine du Rhône entre le Léman et Brigue. Le rectangle indique la région illustrée en détail dans la Figure 2.



Période	Années d'édition des cartes	Contexte historique général	Nom des cartes	Echelle
1850	1845-1865	Avant la première correction du Rhône	Carte Dufour	1:100 000
1900	1882-1904	Entre la première et la deuxième correction	Carte Siegfried	1: 50 000, 1: 25 000
1950	1941-1954	Après la deuxième correction et avant le développement urbain	Carte nationale suisse	1: 50 000
2003	2003	Etat présent, après le développement urbain	Carte nationale suisse (raster)	1: 50 000

TABLEAU 1 – Sources cartographiques utilisées pour décrire l'occupation du sol depuis 1850.

Couverture	Interprétation des cartes topographiques
Forêts	Signature pour Forêt fermée.
Marécages	Signature pour Zone marécageuse.
Zone alluviale du Rhône	Bras latéral du Rhône ou Rhône avec au moins une berge encore caractérisée par une dynamique alluviale. Nous avons retenu comme indice de dynamique alluviale l'aire située entre deux bras du Rhône ou à l'extérieur mais avec la signature cartographique de rochers et forêt ouverte (MÜLLER-WENK et al. 2004). De plus, aucune infrastructure urbaine (constructions, voies de communication) ne doit être présente, ce qui indique l'absence d'inondations périodiques. (y compris le cours d'eau)
Rhône canalisé	Aire occupée par le Rhône, mais sans les caractéristiques mentionnées pour la classe zone alluviale du Rhône.
Zone alluviale des affluents	Mêmes critères que pour Zone alluviale du Rhône, mais pour les affluents du Rhône.
Collines	Signature pour Collines.
Dunes	Signature pour Collines, citées comme Dunes par FARQUET (1924)
Aires urbaines	Aire avec 1) > 5 bâtiments à moins de 100 m de distance ou 2) bâtiments isolés mais de grande taille (ex. industries, fermes), couvrant approximativement la surface de 5 petits bâtiments.
Zones agricoles	Restant des surfaces.
Affluents	* Eau courante naissant des montagnes et se déversant dans une autre rivière, canal, dans le Rhône ou bien dans le Lac Léman.
Canaux	* Eau courante naissant dans la plaine ou qui réapparaît à la surface après avoir été enterrée.
Voies de communication	* Autoroutes, voies de chemin de fer, routes de première et deuxième classe, selon les critères de Swisstopo 2003.
Plans d'eau	** Plan d'eau d'origine naturelle ou artificielle.

TABLEAU 2 – Classes d'occupation du sol reconnues sur les cartes (* numérisée comme lignes, ** numérisée comme points)

informations retenues. C'est pour cela que des efforts doivent être entrepris pour documenter et décrire l'évolution temporelle des paysages de la plaine du Rhône. En outre, l'étude de la dynamique du paysage trouve d'importantes applications, par exemple lors de la prise de décisions dans la planification territoriale et dans la définition d'un état de référence lors de l'élaboration de nouveaux grands projets (GORDON *et al.* 1997, CHRISTENSEN 1997, WHITE & WALKER 1997, JUNGWIRTH *et al.* 2002, NORDLIND & OSTLUND 2003, SER 2004).

Dans ce travail nous décrivons différentes étapes dans la modification de la plaine du Rhône valaisanne et vaudoise sur la base de cartes topographiques de 1850, 1900, 1950 et 2003. Nous présentons les principaux changements et discutons de leurs conséquences potentielles sur la qualité écologique de la plaine. Nous décrivons la méthode utilisée et abordons la question de la précision des données et de leur interprétation.

Nos résultats peuvent permettre une réflexion et guider la prise de décision dans l'aménagement du territoire.

DONNÉES ET MÉTHODES

Zone d'étude

La surface étudiée couvre 240 km² correspondant à la plaine du Rhône entre Brigue (680 m) jusqu'à l'embouchure dans le Lac Léman (372 m), y compris le Chablais vaudois (fig 1). Le périmètre comprend la plaine jusqu'aux bas coteaux, c'est-à-dire la zone ayant subi les principales transformations suite, entre autres aux corrections du Rhône. Le Rhône est aujourd'hui presque entièrement canalisé le long des 120 km du secteur étudié.

Récolte des données et digitalisation

Les données sur l'occupation sol depuis 1850 ont été interprétées et numérisées sur la base de plusieurs cartes topographiques (**tabl. 1**). Nous avons retenu quatre étapes temporelles, correspondant à des moments historiques importants qui reflètent les principales étapes évolutives de la plaine du Rhône (EVÉQUOZ-DAYEN 2001, STÄUBLE & REYNARD 2005)). En 1850 – avant la Première Correction du Rhône – la plaine n'avait subi aucune modification importante. Entre 1900 et 1950 les grandes transformations sont apportées par les principaux travaux de drainage ainsi que par la Deuxième Correction du Rhône (DE TORRENTÉ 1964, WALLIS 2000). Finalement, après les années 1950, la transformation des cultures, l'extension des zones habitées autour des agglomérations de plaine se réalise.

Sur la base des informations représentées sur ces cartes, nous avons pu différencier treize classes d'occupation du sol et les numériser à l'aide du programme ArcMapTM 8.3 (ESRI). Ces classes sont décrites dans le **tableau 2**. La **figure 2** illustre ce travail d'interprétation depuis les cartes topographiques. A cause de la petite échelle des cartes topographiques (1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000), certaines classes ont dû être numérisées comme lignes (voies de communication, canaux et affluents) ou points (plan d'eau).

Incertitude et dynamique du paysage

Le développement des logiciels d'analyse spatiale (SIG) et la disponibilité de l'information numérique, font souvent oublier l'incertitude dans les données de base. Dans notre cas, la précision est très variable selon les cartes et une interprétation correcte des changements demande beaucoup de rigueur, en tenant compte des erreurs et des incertitudes, qui sont souvent liées à l'échelle et à la résolution de la carte. Ces erreurs sont d'autant plus grandes que les cartes sont anciennes. De plus, les manipulations successives de données créent fréquemment des imprécisions opérationnelles qui peuvent s'additionner (JOHNSON 1990, KIENAST 1993), comme par exemple le scannage, le géo-référencement et la numérisation des cartes à l'écran. Si la plupart du temps, il est difficile de quantifier ces imprécisions, il est néanmoins important de les identifier et d'estimer leur impact. Dans le but d'évaluer la divergence des cartes entre les différents moments, nous avons comparé la position (coordonnées X/Y) de neuf églises, objets topographiques facilement identifiables à l'échelle de notre étude, distribuées de manière homogène dans la plaine.

La dynamique du paysage a été étudiée sur la base de deux méthodes. Premièrement, nous avons procédé à l'étude statistique de l'évolution dans le temps des indicateurs de la structure du paysage. Nous avons choisi des mesures simples et fréquemment utilisées : aire, proportion, longueur, nombre et taille moyenne d'unités paysagères (HULSHOFF 1995). Un très grand nombre d'indicateurs aurait pu être calculé comme par exemple l'indice de diversité, l'indice de juxtaposition ou la distance au plus proche voisin (MCGARIGAL & MARKS 1995), mais nous avons choisi d'en limiter le nombre par simplification et à cause des corrélations entre ces mesures (RIITERS *et al.* 1995). Deuxièmement, nous avons calculé des matrices de transition. Une matrice de transition permet de décrire de manière condensée les changements d'état des éléments d'un système (l'occupation du sol) pendant une période don-

née. Elle informe sur les changements d'un type *i* d'occupation du sol vers un type *j*, ceci réalisé entre le temps *t* et *t*+1 (COUSINS 2001, MOREIRA *et al.* 2001, LU *et al.* 2003), par exemple, la surface agricole qui est devenue milieu urbain entre 1900 et 2003. Il est important de noter que la matrice de transition ne contient aucune information sur la distribution spatiale des changements ni sur les causes de ceux-ci.

Parallèlement, une analyse des travaux décrivant l'état de la plaine à partir des années 1850 a permis d'apporter des informations qualitatives. N'ayant pas pu analyser toute la documentation existante, cette partie du travail est loin d'être exhaustive. Notre intention était uniquement, avec cette étude qualitative, d'interpréter les constats et questions soulevés par l'analyse quantitative des changements. Les analyses spatiales ont été effectuées avec les logiciels SIG Mapinfo 7.5 (Mapinfo corporation © 1985-2003) et Manifold 6.00 (Manifold System Release 6.00 Professional Edition).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Incertitudes

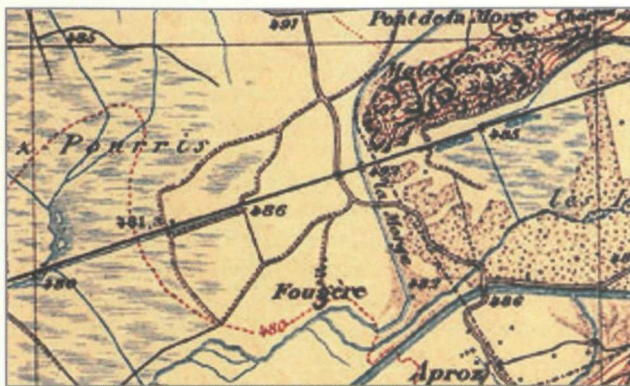
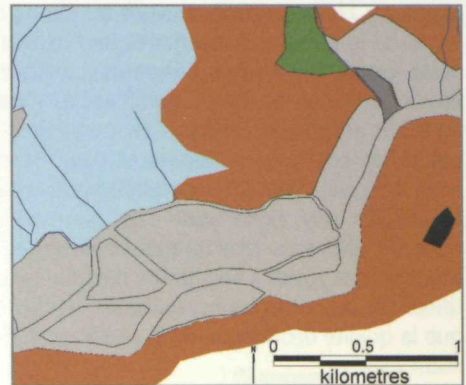
Entre les cartes de 1850 et 2003, on observe une divergence médiane entre la position des églises de 143 m. Cette divergence est de seulement 24 m entre les cartes de 1900 et 2003. Ceci peut être expliqué par les erreurs de mesures topographiques effectuées lors de la réalisation des cartes de 1850. De plus, l'échelle de cette carte est plus petite (1 : 100 000) comparée aux cartes plus récentes, ce qui engendre une imprécision plus grande, notamment lors du géoréférencement (au 1 : 100 000, 1 mm = 100m; au 1 : 25 000, 1 mm = 25 m). Cette petite échelle amène également un manque certain de détails sur l'occupation du sol par rapport aux cartes ultérieures, pouvant conduire à des sur- ou sous-estimations des unités d'occupation du sol numérisées. Ainsi, il faut être prudent quant aux comparaisons concernant l'occupation du sol entre 1850 et les années plus récentes. De plus, concernant les mesures linéaires (canaux, affluents et voie de communication), les objets ponctuels (plan d'eau) et les matrices de transition, nous avons convenu de ne pas les calculer pour l'état 1850, l'échelle étant trop petite et le décalage trop important.

Les cartes topographiques utilisées ont permis d'étudier toute la plaine du Rhône (240 km²) et de dégager les principales tendances de l'évolution du paysage. Par contre il faut être conscient des limites quant à la qualité de l'information contenue dans ces cartes, surtout pour celles réalisées avant 1950. Nous ne pouvons pas exclure que certains éléments paysagers n'aient pas été cartographiés ou l'aient été d'une façon sommaire. Nous pensons par exemple aux limites des zones marécageuse et aux petits éléments comme les dunes, les collines ou les petites unités forestières, qui étaient difficile à définir avec précision.

FIGURE 2 – Extraits des cartes topographiques utilisées pour la digitalisation de la couverture du sol de la plaine du Rhône (Région de Aproz, proche de Sion). Voir **Tableau 1** pour plus de détails concernant les cartes topographiques. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA071163).



1850



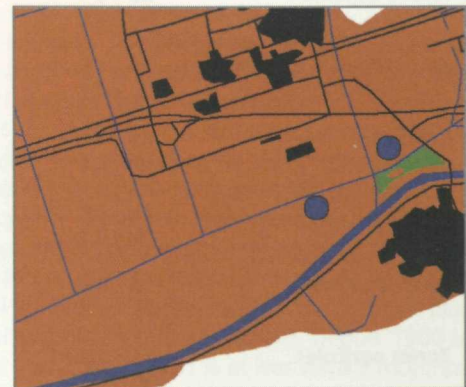
1900



1950



2003



La plaine en 1850

Le **tableau 3** montre la composition du paysage de la plaine en 1850. La zone alluviale du Rhône occupait près de 11 % de la surface, pas autant que l'opinion courante ne le laisse croire. Les «zones naturelles», constituées pour cette étude de toutes les unités identifiées à l'exception des zones agricoles et urbaines, représentent près de 30 % de la plaine. Les zones urbaines ne dépassent pas 2 % de la surface. La zone agricole, couvrant près de 69 % de la plaine, était caractérisée par une exploitation très extensive et certainement riche en éléments structurants comme des haies, des bosquets ou des zones à végétation basse qui n'ont pas été identifiées sur les cartes topographiques. Tout ceci laisse à penser que la qualité écologique de la plaine en 1850 était extrêmement élevée.

L'évocation dans les écrits de la présence de dunes à cette époque, localisées dans la zone du Coude du Rhône et à Saillon, est certainement un élément d'intérêt majeur. FARQUET (1925) puis GAMS (1927) nous laissent des témoignages assez précis quant à leur position, leur nombre et leur couverture végétale. Dans la région de Martigny, la plus grande dune, appelée la «Tour de Malakoff» mesurait 30 m de hauteur (FARQUET 1925). Les dunes de petite taille, en partie recouvertes de végétation, n'ont pas toujours été identifiées comme telles par les cartographes des atlas Dufour ou Siegfried, et n'ont pas été représentées sur les cartes.

Plusieurs auteurs décrivent la plaine du Rhône valaisanne et vaudoise avant les premiers travaux d'endiguement (autour de 1870) comme un lieu dominé et marqué par le fleuve. En effet, les inondations étaient très fréquentes et l'histoire des

communautés riveraines était certainement en partie liée avec celle des débordements du fleuve et des vastes zones marécageuses de la plaine. La rive droite du Rhône était largement marquée par la présence de marais, tandis que sa rive gauche laissait apparaître quelques prairies ou forêts alluviales (DE TORRENTÉ 1964). Cependant, il ne faut pas tomber dans des stéréotypes parfois erronés. Sans mettre en doute le rôle dynamique et structurant du fleuve sur la plaine, il faut relever que des activités agricoles, pastorales et d'exploitation forestière étaient présentes (KUONEN 1993, BENDER 2001). FARQUET (1925) précise d'ailleurs en parlant de la plaine avant les grands travaux d'assainissement, «...les bois et les pâturages occupèrent longtemps toutes les places incultes où le Rhône et les marais n'étendaient pas leur domaine». La plaine était partout exploitée, pour le pâturage, la litière, l'osier, les écrevisses et les poissons, etc.

Evolution jusqu'à 2003

Les changements de l'occupation du sol de la plaine depuis 1850, sont résumés dans le **tableau 3**.

Un des changements les plus importants, est la réduction massive des milieux humides et aquatiques. Les zones alluviales perdent 95 % de leur surface et occupent aujourd'hui moins de 1 % de la plaine. Parallèlement les zones de marécage perdent aussi une très grande surface (-85 %) et se réduisent à seulement 1.3 % de la plaine en 2003. Il faut noter que ce dernier pourcentage correspond pratiquement entièrement aux régions de Pouta Fontana (Grône et Sierre), des Grangettes (Noville, Villeneuve) et du Bois de Finges (Loèche, Salquenen, Sierre). Ce sont les travaux de drainage de la plaine entre 1980 et 1950 qui ont eu comme effet de réduire considérablement la surface occupée par les marécages. En 1900, après la première correction du Rhône, la plaine était encore en bonne partie occupée par des marécages et les drains étaient constitués par de petits canaux formant encore un

TABLEAU 3 – Changements de l'occupation du sol de la plaine du Rhône depuis 1850. La zone urbaine a augmenté de 649 % entre 1850 et 2003, c'est-à-dire multiplié par environ 7.5 fois !

Couverture		Surface				Changements depuis 1850 [%]
		1850	1900	1950	2003	
Forêts	ha %	2391 9.9	2081 8.7	1100 4.6	1248 5.2	- 48
Marécage	ha %	1971 8.2	1472 6.1	354 1.5	305 1.3	- 85
Zone alluviale du Rhône	ha %	2614 10.9	396 1.6	365 1.5	133 0.6	- 95
Rhône canalisé	ha %	0 0.0	577 2.4	718 3.0	578 2.4	–
Zone alluviale des affluents	ha %	15 0.1	32 0.1	1 0.0	0 0.0	- 100
Collines	ha %	44 0.2	40 0.2	27 0.1	26 0.1	- 41
Dunes	ha %	15 0.1	8 0	1 0	0 0	- 100
Aires Urbaines	ha %	443 1.8	327 1.4	866 3.6	3320 13.8	+ 649
Zones agricoles	ha %	16541 68.8	19101 79.5	20602 85.7	18424 76.6	+ 11

Couverture	Longueur [km]			Changements depuis 1900 [%]
	1900	1950	2003	
Affluents	143	94	80	-44
Canaux	511	395	322	-37
Voies de communication	340	529	667	+96
	Nombre d'unités			
Plans d'eau	13	18	86	+561.5

TABLEAU 4 – Evolution des éléments linéaires et des plans d'eau dans la plaine du Rhône depuis 1900.

Couverture	1900		1950		2003		Changement depuis 1900 (%)	
	NU	ha	NU	ha	NU	ha	NU	ha
Forêts	127	16.4	266	4.1	348	3.6	+175	-78
Marécages	88	16.7	38	9.3	30	10.2	-66	-40
Zones alluviales du Rhône	10	39.6	2	182.3	3	44.3	-70	+12
Rhône canalisé	4	144.2	3	239.4	3	192.5	-25	+34
Zones alluviales des affluents	5	6.5	3	0.2	0	0.0	-100	-100
Collines	41	1.0	18	1.5	19	1.3	-54	+30
Dunes	19	0.4	2	0.5	0	0.0	-100	-100
Aires urbaines	210	1.6	168	5.2	466	7.1	+122	+344
Zones agricoles	121	157.9	88	233.4	171	107.7	+41	-32
Total	625	38.5	588	40.9	1040	23.1	+60	- 40

TABLEAU 5 – Evolution du nombre d'unités paysagères (NU) et de leur taille moyenne en hectares (ha) depuis 1900.

important refuge pour un grand nombre de plantes aquatiques (DELARZE *et al.* 1982, GIUGNI 1986). Ainsi, en 1900, même si la dynamique alluviale dans les zones inondables était déjà presque entièrement détruite, la valeur écologique de la plaine était encore très importante, essentiellement en raison de la richesse en espèces liées aux zones marécageuses, aux dunes et aux zones agricoles exploitées extensivement (GAMS 1916, 1927, FARQUET 1925, DELARZE 1982, PRAZ 1983, GIUGNI 1986, REY *et al.* 1986, DESFAYES 1996).

La surface forestière s'est aussi réduite de 48 %, et, de même que les marécages, essentiellement entre 1900 et 1950. A partir de 1950, la surface forestière de la plaine reste assez constante. Par contre, c'est à partir du milieu du XX^e siècle que le développement urbain a été le plus important. Les surfaces urbaines passent de 3.6 % en 1950 à 13.8 % en 2003. Au total, depuis 1850, l'augmentation a été de 649 %, c'est-à-dire multiplié par 7.5 fois. De même, les voies de communication principales se sont considérablement ramifiées (+ 96 % entre 1900 et 2003, **tableau 4**). La longueur totale des affluents et des canaux s'est par contre réduite, respectivement de 44 % et 37 %. Enfin, le nombre de plans d'eau a remarquablement augmenté, essentiellement suite aux récentes

activités humaines (ex. création de bassins de décantation pour l'autoroute, extraction de gravier). Les dunes ont aussi complètement disparues dans les années 1950.

Ces évolutions spectaculaires rendent compte de l'état actuel de la plaine, à savoir une surface quasiment dépourvue de zones naturelles telles que marais et zones alluviales, mais nettement dominée par l'urbanisation et l'agriculture, représentant respectivement 13.8 % et 76.6 % de la surface totale.

En outre, depuis 1900, la configuration du paysage a aussi considérablement évolué (**tableau 5**). Le nombre total des unités paysagères passe de 625 en 1900, à 1040 en 2003 (+60%). Leur taille moyenne par contre s'est réduite de 40%. Cela indique clairement l'augmentation considérable de la fragmentation du paysage, c'est-à-dire le morcellement des unités et la diminution de leur taille. Le nombre d'unités forestières augmente de 175% et leur surface moyenne diminue de 78%. Les forêts deviennent donc de plus en plus petites et isolées. Parallèlement le nombre d'unités de marécages et leur surface moyenne diminuent respectivement de 66% et de 40%. Inversement le nombre et l'aire moyenne des zones urbaines augmentent considérablement (respectivement de 122% et de 344%). Enfin, le secteur agricole n'a pas non plus échappé à ce phénomène de morcellement. Depuis 1900 le nombre d'unités a augmenté de 41% et leur surface moyenne a diminuée de 32%.

Matrice de transition

Les matrices de transition de l'occupation du sol ont été réalisées pour les périodes 1900-1950, 1950-2003 et 1900-2003 (tableau 6). Ces matrices indiquent le nombre et les fréquences de toutes les transitions entre les différents types d'occupation du sol pendant une période donnée. Les valeurs en diagonale indiquent la part de chaque classe qui n'a pas changé. Les autres chiffres correspondent au pourcentage des surfaces modifiées entre les deux pas temporels par rapport à la surface originelle de la classe. Par exemple, entre 1900 et 2003, 15% de la surface agricole de 1900 a été transformée en milieux urbains en 2003. Nous présentons trois matrices dans le but de dégager d'éventuelles différences temporelles au niveau de la vitesse des transitions. Nous soulignons que certaines transitions, comme urbain-agricole, doivent pour la majeure partie être attribuées aux facteurs d'incertitude que nous avons présentés. En effet, il paraît très peu probable qu'une zone construite se soit transformée en terre agricole.

Le tableau 6 est très riche en informations, mais nous discuterons ici seulement les transitions les plus importantes. La surface de marécages disparue entre 1900 et 1950 a été essentiellement occupée par l'agriculture (86.8%). Par la suite, entre 1950 et 2003, 12.1% des zones marécageuses se

sont converties en surfaces forestières et 42.8% ont été exploitées par l'agriculture. Globalement, c'est donc l'expansion agricole qui a pris la place des zones humides de la plaine du Rhône. L'avancée de la forêt sur les zones marécageuses, probablement suite à l'atterrissement, a joué un rôle secondaire et a été identifiée essentiellement pendant les 50 dernières années. Il faut aussi signaler que l'étude des zones alluviales est biaisée par le fait qu'en 1900 elles avaient en grandes parties déjà disparu à la suite de la première correction du Rhône. Ici on observe donc uniquement les conséquences de la deuxième correction, celle qui a réduit l'emprise de la surface mouillée du Rhône (WALLIS 2000). Cette surface a été occupée par l'agriculture et la forêt (respectivement 37.4 % et 36.5 % entre 1900 et 2003). La surface forestière a laissé la place à l'agriculture essentiellement pendant les premiers 50 ans du siècle passé (65.2 %). Finalement c'est la surface agricole qui a contribué le plus au développement de l'urbanisation, en sacrifiant 15 % de sa surface entre 1900 et 2003 (c'est-à-dire environ 2871 ha). Cette transition s'est effectuée essentiellement pendant les 50 dernières années, ce qui confirme les résultats observés précédemment.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude de la dynamique du paysage rend compte du contexte temporel dans lequel le paysage présent s'est mis en place. Elle présente clairement, d'une façon standardisée et quantitative l'emprise des activités humaines sur la plaine du Rhône et permet ainsi aux acteurs de la planification territo-

TABLEAU 6 – Matrice de transition (en pourcentage) des classes d'occupation du sol de la plaine du Rhône depuis 1900 (en gras pourcentage >10%).

De 1900 à 1950									
Classes	F	M	AR	RC	AA	C	D	U	AG
Forêts (F)	26.5	1.8	0.6	4.4	0	0	0	0.2	65.2
Marécages (M)	2.0	9.7	0	0	0	0	0	0.4	86.8
Zone alluviale du Rhône (AR)	13.4	0.5	64.5	0.4	0	0	0	0.6	20.5
Rhône canalisé (RC)	1.4	0.2	0	53.2	0	0	0	0.1	45.0
Zone alluviale des affluents (AA)	23.2	0	0	7.6	2.1	0	0	0	67.1
Collines (C)	2.3	0.4	4.2	0.2	0	29.8	0	1.0	62.1
Dunes (D)	0	20.4	0	3.2	0	0	1.7	0	74.7
Aires Urbaines (U)	0	0	0	0	0	0	0	73.3	26.7
Zones agricoles (AG)	2.4	0.9	0.5	1.6	0	0.1	0	3.2	91.2
De 1950 à 2003									
Classes	F	M	AR	RC	AA	C	D	U	AG
Forêts (F)	59.0	5.0	0.3	0.5	0	0.1	0	1.8	35.9
Marécages (M)	12.1	48.7	0	0.2	0	0	0	0.7	42.8
Zone alluviale du Rhône (AR)	31.9	0	32.1	0.1	0	1.0	0	1.9	33.0
Rhône canalisé (RC)	5.1	0	0.1	60.0	0	0	0	0.8	34.0
Zone alluviale des affluents (AA)	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0
Collines (C)	1.9	0	0	0	0	37.6	0	6.1	54.4
Dunes (D)	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0
Aires Urbaines (U)	0.1	0	0	0.1	0	0	0	87.2	12.6
Zones agricoles (AG)	2.0	0.4	0.1	0.7	0	0.1	0	12.3	84.7
De 1900 à 2003									
Classes	F	M	AR	RC	AA	C	D	U	AG
Forêts (F)	22.4	2.6	0	2.7	0	0	0	2.7	69.5
Marécages (M)	4.6	6.9	0	0	0	0	0	6.6	81.8
Zone alluviale du Rhône (AR)	36.5	0.1	24.5	0.2	0	0.1	0	1.2	37.4
Rhône canalisé (RC)	2.6	0.1	0	59.1	0	0	0	0.7	37.5
Zone alluviale des affluents (AA)	10.8	0.8	0	6.5	0	0	0	0	81.9
Collines (C)	1.8	0	0	0	0	29.3	0	9.1	59.7
Dunes (D)	0	9.5	0	0	0	0	0	3.5	87.0
Aires Urbaines (U)	0.2	0	0	0	0	0	0	86.4	13.4
Zones agricoles (AG)	2.9	0.8	0.2	0.9	0	0.1	0	15.0	80.1

riale, aux décideurs politiques et à la population locale d'évaluer les conséquences. Ce travail a nécessité un grand effort et investissement de temps pour la recherche des cartes topographiques, le scannage et la mise en place des référentiels et leur digitalisation. Les analyses spatiales et la mise en évidence des changements via des matrices de transition peuvent être réalisées assez rapidement grâce au développement des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) et ne s'avèrent donc pas très coûteuses.

Les matrices de transition ne contiennent pas d'information spatiale, mais il est aussi possible de calculer des cartes de transition sur lesquelles les types de changements (ex. agricole-urbain) peuvent être représentés (PAULMIER 2004). Ceci constituerait sûrement un outil de communication supplémentaire qui aurait aussi des applications intéressantes dans la planification territoriale ou dans des processus participatifs (concepts d'évolution paysagère, concepts régionaux nature et paysage, plans directeurs forestiers, etc.). A partir de la matrice de transition, il est possible de calculer une matrice de probabilité de transition de chaque classe d'occupation du sol vers une autre, ce qui permettrait d'effectuer des modélisations de la dynamique du paysage dans le but de faire des pronostiques pour le futur. Cependant, pour construire des modèles réalistes, nous aurions également besoin de données économiques, sociales et politiques (DISCHINGER & ZANINI 2003).

Les photos aériennes auraient apporté plus de précision et d'informations mais elles n'existent qu'après le premier quart du XX^e siècle. Un travail ultérieur pourrait évaluer les changements de la qualité écologique intrinsèque de chaque classe d'occupation du sol, vu qu'il apparaît clairement que la valeur écologique des milieux (agricole mais pas uniquement) a beaucoup évolué dans le temps.

En conclusion, il ressort clairement de notre travail que la surface occupée par les écosystèmes naturels s'est considérablement réduite. Les espaces reliques sont de plus en plus isolés les uns des autres par une distance géographique croissante mais aussi par de nouveaux obstacles physiques comme les zones urbaines ou les voies de communication. Dans ce contexte, il est donc impératif de conserver et de valoriser les sites existants et de les mettre en réseau par des liaisons biologiques. Les réflexions sur les aménagements futurs du territoire sont à développer en harmonie avec les intérêts de la population résidente, avec les potentialités touristiques et avec le maintien de la diversité biologique. Il est difficile de nier les besoins en espaces verts que notre société recherche, ni leur contribution à son bien-être.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Service des Routes et des Cours d'eau, le Service des Forêt et du Paysage du Canton du Valais, Romaine Perraudin Kalbermatter et Raymond Delarze pour les intéressantes discussions et suggestions, ainsi que la Médiathèque du Valais pour la mise à disposition des cartes Dufour et Siegfried. Nous remercions également Jonas Winizki pour son aide lors du travail de digitalisation et la rédaction de La Murithienne pour la lecture du texte.

BIBLIOGRAPHIE

- BALMFORD, A., & W. BOND 2005. Trends in the state of nature and their implications for human well-being. *Ecology Letters* 8: 1218-1234.
- BENDER, G. 2001. Où est passé la Camargue valaisanne ? Rhône sauvage et eau stagnante. Un fleuve vagabond. *Cahiers d'ethnologie valaisanne* 6. Sion, pp 87-104.
- CHRISTENSEN, N. L. 1997. Managing for Heterogeneity and Complexity on Dynamic Landscape. Pages 167-186. In S. T. A. PICKETTS, R. S. OSTFELD, M. SHACHAK & G. E. LIKENS, (eds), *The Ecological Basis of Conservation. Heterogeneity, Ecosystems, and Biodiversity*. Chapman and Hall, New York 167-186.
- COUSINS, S. A. O. 2001. Analysis of land-cover transitions based on 17th and 18th century cadastral maps and aerial photographs. *Landscape Ecology* 16: 41-54.
- DELARZE, R., J. M. FIVAZ, J. D. JOSI, A. PERROTET, & M. POT. 1982. Historique des milieux palustres de la haute plaine du Rhône vaudoise. *Revue historique du Chablais vaudois* 5: 3-32.
- DESFAYES, M. 1996. Flore aquatique et palustre du Valais et du Chablais vaudois. *Les Cahiers des Sciences naturelles* 1. Musée d'histoire naturelle. Sion.
- DISCHINGER, C. & F. ZANINI. 2003. *Simulation spatiale de l'évolution d'un paysage anthropisé intégrant automates cellulaires, chaînes de Markov et méthodes d'analyses multicritères: cas d'application de la plaine du Rhône (Valais, Suisse)*. Rapport interne, EPFL-GEOS.
- DOBSON, A. P., A. D. BRADSHAW & A. J. M. BAKER. 1997. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation biology. *Science* 277:515-522.
- EVÉQUOZ-DAYEN, M. 2001. *Etats généraux du développement durable. 5 et 6 octobre 2001, Kinderdorf, Loèche*. Actes. Rapport non publié. Sion.
- FARQUET, P. 1925. Les marais et les dunes de la région de Martigny. *Bull. Murithienne* 42: 113-149.
- FORMAN, R. T. T. & M. GODRON 1986. *Landscape ecology*. John Wiley, New York.
- GIUGINI, G. 1986. Evolution des milieux palustres de la plaine du Rhône dans le Chablais valaisan. *Bull. Murithienne* 103: 85-101.
- GAMS, H. 1916. La grande gouille de la Sarvaz et ses environs. *Bull. Murithienne* 39: 125-191.
- 1927. Von den Follatères zur Dent de Morcles. *Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz*. 15, XII, 760 p.
- GORDON, D. R., L. PROVENCHER & J. L. HARDESTY 1997. Measurement Scales and Ecosystem Management. Pages 262-273. In S. T. A. PICKETTS, R. S. OSTFELD, M. SHACHAK & G. E. LIKENS, (eds). *The Ecological Basis of Conservation. Heterogeneity, Ecosystems, and Biodiversity*. Chapman and Hall, New York, 262-273.
- HULSHOFF, R. M. 1995. Landscape Indexes Describing a Dutch Landscape. *Landscape Ecology* 10: 101-111.
- JOHNSON, L. B. 1990. Analyzing spatial and temporal phenomena using geographical information systems. A review of ecological applications. *Landscape Ecology* 4: 31-43.
- JUNGWIRTH, M., S. MUHAR & S. SCHMUTZ 2002. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47: 867-887.
- KIENAST, F. 1993. Analysis of Historic Landscape Patterns with a Geographical Information-System - a Methodological Outline. *Landscape Ecology* 8: 103-118.
- KUONEN, T. 1993. Histoire des forêts de la région de Sion du Moyen-Age à nos jours. *Cahier de Vallesia*. Sion. 676 pp.
- LU, L., X. LI & G. D. CHENG 2003. Landscape evolution in the middle Heihe River Basin of north-west China during the last decade. *Journal of Arid Environments* 53: 395-408.
- MCGARIGAL, K. & B. J. MARKS 1995. *Fragstats: spatial pattern analyses program for quantify landscape structure*. Portland, Department of agriculture, Forest service, Pacific Northwest research station.
- MENDONÇA, S & BREFIN, M. 1999. *GIS and spatio-temporal modelling for the study of alluvial soil and vegetation evolution*. Thèse EPFL. Lausanne
- MOREIRA, F., F. C. REGO & P. G. FERREIRA 2001. Temporal (1958-1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology* 16: 557-567.
- MORET, J. L. 1985. Flore aquatique et paludéenne de la région des Granges. Esquisse d'un catalogue dynamique. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 17: 117-158.

- MÜLLER-WENK, R. F. HUBER, N. KUHN & A. PETER 2004. Landnutzung in potentiellen Fließgewässer-Auen – Artengefährdung und Ökobilanzen. *Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft*. 361 S.
- NORDLUND, E. & L. OSTLUND 2003. Retrospective comparative analysis as a tool for ecological restoration: a case study in a Swedish boreal forest. *Forestry* 76: 243-251.
- OFS 1992. *Recensement fédéral de la population 1990 – Evolution de la population entre 1850 et 1990*. Office Fédéral de la Statistique, Berne, 212 p.
- PAULMIER, E. 2004. *Evolution de la qualité écologique des paysages de la plaine du Rhône sur la base d'une analyse spatiale de cartes historiques*. Travail de diplôme Postgrade- Environnement, Sciences, Ingénierie et Management, EPFL.
- PIMM, S.L. & P. RAVEN 2000. Biodiversity – extinction by numbers. *Nature*, 403, 843–845.
- POSSE, B. 1997. *Eléments d'écologie paysagère en plaine du Rhône (Valais, Suisse): de l'endiguement de fleuve à nos jours*. Travail de diplôme. Laboratoire de Phytosociologie et Ecologie, Institut d'Ecologie végétale, Université de Neuchâtel. 157p.
- PAZ, J.-C. 1983. La protection des espèces animales et rares en Valais. *Bull. Murithienne* 100: 169-183.
- 1993. Pouta-Fontana – Marais de plaine. *Les cahiers du musée* 1. Sion.
- REY, A., B. MICHELLOD & K. GROSSENBACHER 1986. Inventaire des batraciens du Valais: situation en 1985. *Bull. Murithienne* 103: 3-38.
- RIITTERS, K. H., R. V. ONEILL, C. T. HUNSAKER, J. D. WICKHAM, D. H. YANKEE, S. P. TIMMINS, K. B. JONES & B. L. JACKSON 1995. A Factor-Analysis of Landscape Pattern and Structure Metrics. *Landscape Ecology* 10: 23-39.
- [SER] Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group, 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson: *Society for Ecological Restoration International*.
- TILMAN, D., R.M. MAY, C.L. LEHMAN *et al.* 1994. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371, 65–66.
- THOMAS, C. D., A. CAMERON, R. E. GREEN, M. BAKKENES, L. J. BEAUMONT, Y. C. COLLINGHAM, B. F. N. ERASMUS, M. F. DE SIQUEIRA, A. GRAINGER, L. HANNAH, L. HUGHES, B. HUNTLEY, A. S. VAN JAARSVELD, G. F. MIDGLEY, L. MILES, M. A. ORTEGA-HUERTA, A. T. PETERSON, O. L. PHILLIPS & S. E. WILLIAMS 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148.
- TORRENTÉ DE, 1964. *La correction du Rhône en amont du lac Léman*. Département fédéral de l'Intérieur, Berne.
- WALLIS 2000. *Troisième correction du Rhône, Sécurité pour le futur*. Rapport de synthèse. Canton du Valais, Service des Routes et Cours d'Eau.
- WHITE, P. S., & J. L. WALKER 1997. Approximating nature's variation: Selecting and using reference information in restoration ecology. *Restoration Ecology* 5: 338-349.

